



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Emil Haljend**

**TAHHÜMEETRITE PRISMA AUTOMAATJÄLGIMIS  
SÜSTEEMI TÄPSUSE UURING**

**AN INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF AUTOMATIC  
TARGET RECOGNITION SYSTEM OF TOTAL STATIONS**

Bakalaureusetöö  
Geodeesia, maakorralduse ja kinnisvara planeerimise õppekava

Juhendaja: lektor Tarmo Kall, *PhD*

Kaasjuhendaja: dotsent Harli Jürgenson, *PhD*

Tartu 2017

EESTI MAAÜLIKOOL		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Emil Haljend		Õppekava: Geodeesia, maakorraldus ja kinnisvara planeerimine	
<b>Pealkiri:</b> Tahhümeetrite prisma automaatjälgimis süsteemi täpsuse uuring			
Lehekülgi: 38	Jooniseid: 20	Tabeleid: 14	Lisasid: 0
Osakond: Geomaatika			
Uurimisvaldkond: Geodeesia, P515			
Juhendajad: Tarmo Kall, PhD; Harli Jürgenson, PhD			
Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2017			
<p>Enamus tänapäeval toodetud tahhümeetritel on sisse ehitatud automaatjälgimis süsteem (<i>ATR</i>), mis suudab jälitada prisma sinna kuhu ta liigub. On olemas palju erinevaid prismaid ja iga üks on teisest natukene erinev, mis tähendab, et <i>ATR</i> võib iga prisma puhul käituda erinevalt. Ka erinevate tootjate tahhümeetritel on <i>ATR</i> ehitatud erinevalt, mis tõstatab töö probleemi, kas Leica TS15 ja Trimble S6 tahhümeetrid saavad <i>ATR</i> süsteemi kasutades erinevatele prismadele mõõtes samad tulemused. Töös kasutati kolme standardprisma ja ühe 360° prisma. Katsemõõtmised tehti ~9 meetrisel lõigul ja ~87 meetrisel lõigul. Analüüsi, kui suured horisontaalsuuna vead töös kasutatud prismade puhul mõõtmistesse tekivad. Selgus, et samas täpsusklassis olevate tahhümeetrite puhul sõltub viga tahhümeetrist endast vähe, kuna mõõtmisvigade erinevus ei tule märgatavalt suur. Kuna paljudel ehitusobjektidel nõutakse paari millimeetrist täpsust siis selgus ka see, et sellistel mõõtmistel on töös kasutatud prismadest soovitatav kasutada ainult Leica GTP1 prisma, mille puhul 9 meetri peale mõõtes jäi maksimaalne horisontaalsuuna viga 1mm piiresse. 87-le meetrile mõõtes jäi Trimble S6 instrumendi puhul maksimaalne viga alla 4 mm ja Leica TS15 kasutades jäi viga alla 7mm. Võrreldes Leica GTP1 prismaga oli Trimble 360° prisma viga natukene suurem ja tundmatute tootjate standardprismadega jäid vead juba 20 mm juurde.</p>			

Märksõnad: Elektrontahhümeeter, prisma, automaatjälgmis süsteem

ESTONIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES		Abstract of Bachelor's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Emil Haljend		Speciality: Geodesy, Land Management and Real Estate Planning	
Title: An investigation of the accuracy of Automatic Target Recognition system of Total Stations			
Pages: 38	Figures: 20	Tables: 14	Appendixes: 0
Department: Geomatics			
Field of research: Geodesy, P515			
Supervisors: Tarmo Kall, PhD; Harli Jürgenson, PhD			
Place and date: Tartu, 2017			
Nowadays all produced Total Stations have built in Automatic Target Recognition system (ATR), which can track prism when it is moving. There are a lot of different prism, each one is a little different from the other, which means that ATR can behave differently with every prism. In addition, every Total Station manufacturer have their ATR system built differently, which raised the question, does Leica TS15 and Trimble S6 Total Stations can get same results using ATR when measuring to different prisms. In this thesis three round prisms and one 360° prism were tested. Measurements were made to a ~9 meter line and to a ~87 meter line. Measurement errors in horizontal direction using afore-mentioned prisms were analyzed. The results revealed that using Total Stations of the same accuracy class, the error does not depend much on the Total Station, because the measurement errors did not differ significantly. Many building sites require that errors should not be bigger than couple of millimeters. This thesis defined that from the prisms used in this study, only one prism meets the requirements for that kind of measurements, which is Leica GTP1 round prism. Error in horizontal direction for that prism on 9 meter line was around 1 mm, on the 87 meter line Trimble S6 Total Station showed horizontal direction error under 4 mm and Leica TS15 under 7 mm. Error was little bigger using Trimble 360° compared to Leica GTP1 and unknown manufacturer round prism maximum error was around 20 mm.			
Keywords: Total Station, Prism, Automatic Target Recognition			

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	7
1.1. Automaatjälgimise süsteem .....	7
1.1.1. Automaatjälgimise süsteemi tutvustus .....	7
1.1.2. Automaatjälgimise süsteemi ehitus .....	7
1.2. Elektrontahhümeetrias kasutatavad prismad.....	9
1.2.1. Prisma tööpõhimõte .....	9
1.2.2. Prisma tüübid.....	10
1.2.3. Prisma konstant .....	13
2. MÕÕTMISTEKS KASUTATAVAD INSTRUMENDID JA METOODIKA.....	15
2.1. Kasutatavad prismad.....	15
2.2. Tahhümeetri Trimble S6 ülevaade.....	17
2.3. Tahhümeetri Leica TS15 ülevaade .....	18
2.4. Metoodika .....	20
3. MÕÕTMISTE TULEMUSED.....	22
3.1. Mõõtmised lühikesel distantil .....	22
3.2. Mõõtmised pikal distantil.....	23
4. TULEMUSTE ANALÜÜS .....	26
4.1. Standardprismade analüüs lühikesel distantil .....	26
4.2. Standardprismade analüüs pikal distantil.....	29
4.3. Trimble 360° prisma analüüs .....	31
KOKKUVÕTE .....	33
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	34
AN INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF AUTOMATIC TARGET RECOGNITION SYSTEM OF TOTAL STATIONS .....	35
Summary .....	35

## SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö teema „Tahhümeetrite prisma automaatjälgimis süsteemi täpsuse uuring“ tuli sellest, et ehitustel antakse geodeedile ja ka ehitajatele järjest vähem eksimisruumi. Kuna ehitustel on palju erinevaid detaile maha märkida, mille tolerantsid on varieeruvad siis töös uuritakse, kui suur on tahhümeetrite prisma automaatjälgimis süsteemide suunamõõtmiste vead ringprismaga ja tavaprismaga. Suvel praktilisel olulisele autorile ka mõnele sellisele objektile, kus taheti mõnede detailide mahamärkimist 1 millimeetri täpsusega. Sellest tekkis tööl autoril huvi, milliseid asju võib erinevate prismadega märkida ja kas on üldse võimalik töös kasutatavate prismadega saavutada 1 millimeetri täpsust, mida mõned projekteerijad on projektidesse kirjutanud.

Uurimistöös kasutatakse nelja erinevat prisma, millest 3 on standardprismad ja üks 360° prisma. Prismadele mõõtmiste tegemiseks kasutatakse Trimble S6 ja Leica TS15 elektrontahhümeetreid. Kasutatakse kahte statiivi, millest ühele asetatakse prisma ja teisele tahhümeeter. Tulemustes arvestatakse ainult horisontaalsuuna lugemeid, mis saadakse Trimble 360° prisma puhul seda statiivil ringi keerates, tavaprismade puhul keeratakse prisma 0-suunast mõlemale poole 15° kraadi ja lisaks proovitakse kui palju saab keerata prisma nii, et automaatjälgimis süsteem sellest lahti ei laseks. Trimble 360° prisma puhul uuritakse ka seda, kas on vahet kui muuta tahhümeetri seadetest prisma tüübiks ringprisma või tavaprisma režiim. Töö hüpoteesiks on, et mõlema firma tahhümeetritega mõõtes saab kõikidele prismadele samad tulemused.

Töö on ülesehitatud nelja peatükina. Esimeses osas antakse ülevaade automaatjälgimis süsteemist, kus räägitakse mis asi see täpsemalt on ja tutvustatakse selle ehituslikku poolt. Lisaks automaatjälgimis süsteemile antakse ülevaade ka prismadest, milliseid prisma tüüpe on olemas, mis on prisma konstant ja milline on prisma tööpõhimõte. Töö teises osas antakse ülevaade töös kasutatavatest instrumentidest, prismadest ja seletatakse lahti meetoodika. Kolmandas osas kirjutatakse lahti ja tuuakse välja mõõtmistel saavutatud tulemused. Neljandas osas analüüsitakse saadud tulemusi ja võrreldakse neid ühe varasema uuringu põhjal saadud tulemustega.

Töö autor avaldab tänu oma juhendajale Tarmo Kallile ja kaasjuhendajale Harli Jürgensonile.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Automaatjälgimise süsteem

### 1.1.1. Automaatjälgimise süsteemi tutvustus

Viimasel ajal on enamus toodetud tahhümeetrid automaatjälgimis süsteemiga (*ATR-automatic target recognition/autolock* – süsteem, mis võimaldab mõõta prismale kaugust ja nurki ilma, et tahhümeetri kasutaja peaks niitristiku ise prisma peale suunama), mis on loodud inimese eksimuste vähendamiseks mõõtmistöodel, selle tulemusena jääb ära niitristiku manuaalne prismale keeramine. Tahhümeetrite tootjad väidavad, et seda viisi kasutades saab täpsemad tulemused kui manuaalsete mõõtmistega [1]. *ATR*-i leiutamine on loonud ka sellise olukorra, kus pole paljudele välimõõtmistele enam vaja kahte geodeeti, see säästab ettevõtte raha ja saab suunata teise tööliste teisele objektile. Lisaks säästab see ka aega, kuna jääb ära manuaalne tahhümeetri prisma peale keeramine. *ATR* leiab kasutust peaaegu igas mõõtmistega seotud valdkonnas, kuna sellega on palju lihtsam teha mahanägemisi, katastrofiksusi ja mahtusid mõõta ja palju muud. *ATR*-iga mõõtmiseks sobib nii tavaprisma kui ka ringprisma. Ringprismat eelistatakse *ATR* süsteemi puhul rohkem, kuna teda on lihtsam hoida nii, et aparaat prismat *autolock*-st lahti ei laseks. Ringprisma puhul saab tahhümeeter jälgida prismat iga külje alt, kuna ta on 360° kaetud tagasi peegelduva pinnaga, tavaprisma puhul on tagasipeegelduv pind ainult ühes suunas, mis teeb tema kasutamise *ATR* süsteemiga raskemaks [2].

### 1.1.2. Automaatjälgimise süsteemi ehitus

*ATR* süsteemi toimimiseks on vaja motoriseeritud tahhümeetrit, millel on vähemalt 2 mootorit, üks mis keerab tahhümeetrit horisontaalselt ja teist mis keerab vertikaalselt. Tahhümeetrisse sisse ehitatud mootorid teevad võimalikuks selle, et:

- 1) Tahhümeeter suudab enda pikksilma automaatselt liigutada nii ülesse ja alla, kui ka paremale ja vasakule suunal;
- 2) Pikksilma prismale keeramisel pole vaja seda täpselt sihtida, vaid tahhümeeter saab ise aru kui prisma on lähedal, mille tulemusena ta keerab ennast sinna õigesti peale;
- 3) Tahhümeetrit saab juhtpuldi abil prismale keerata.

*ATR*-i toimimiseks on vaja tagasi peegelduvat pinda. Kui tahhümeeter on keeratud nii, et *ATR* on prisma vaateväljas siis ta võtab ennast selle külge kinni. Juhul kui prisma pole vaateväljas siis hakkab ta seda otsima, kasutades algoritme, milles on arvestatud prisma viimast asukohta ja selle kõrgust. Kui prisma leitakse ülesse, siis tahhümeetri pikksilm jätab liikumise pooleli ja prisma pinnalt saadetakse koheselt kiir tagasi tahhümeetrisse, mille tulemusena saadakse prisma asukoht. Kui vaadata pikksilma sisse siis on näha, et *ATR* süsteem ei ole täpselt prisma keskele kinni võtnud, seda nimetatakse *ATR*-i nihkeks. Kuigi võib tunduda, et niitristik peaks olema täpselt prisma keskel siis tegelikult arvutab tahhümeeter ise ära kõik nurga parandid. Õigete mõõtmistulemuste jaoks tuleb sisestada õige prisma konstant [3].

Esimesed automaatselt prismat jälgivad tahhümeetrid loodi 1990. aastatel. Esimene selline, mis müügile tuli oli Geodimeeter 4000, see toimus 1992. aastal. 90.-ndate keskel tuli ka Leica oma esimese prismat jälgiva tahhümeetriga, mille nimeks sai TPS1000. Instrumendid olid küll olemas, aga neid väga ei usaldatud mõõtmistel, kuna täpsus polnud neil veel piisavalt hea [4].

Tänapäeva tuntumad elektrontahhümeetreid tootvad firmad on Trimble, Leica, Topcon, Sokkia ja Nikon. Igal firmal on oma nimetus *ATR* süsteemile:

- Leica - Automatic Target Recognition;
- Trimble - AutoLock / Fine Lock;
- Topcon - X-TRAC;
- Nikon - Focusing System;
- Sokkia - Auto Pointing.

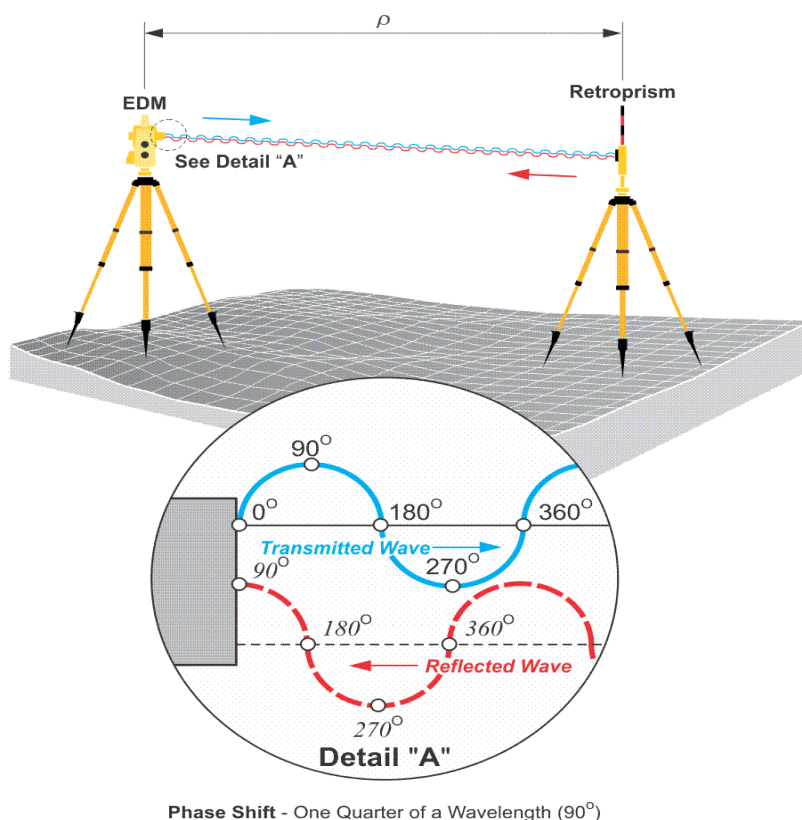
Kuigi nimed on neil erinevad, on nende tööpõhimõtte sama. Ainus erinevus on see, et erinevatel tootjatel on oma koostisosad nende valmistamiseks [1].



## 1.2. Elektrontahhümeetrias kasutatavad prismad

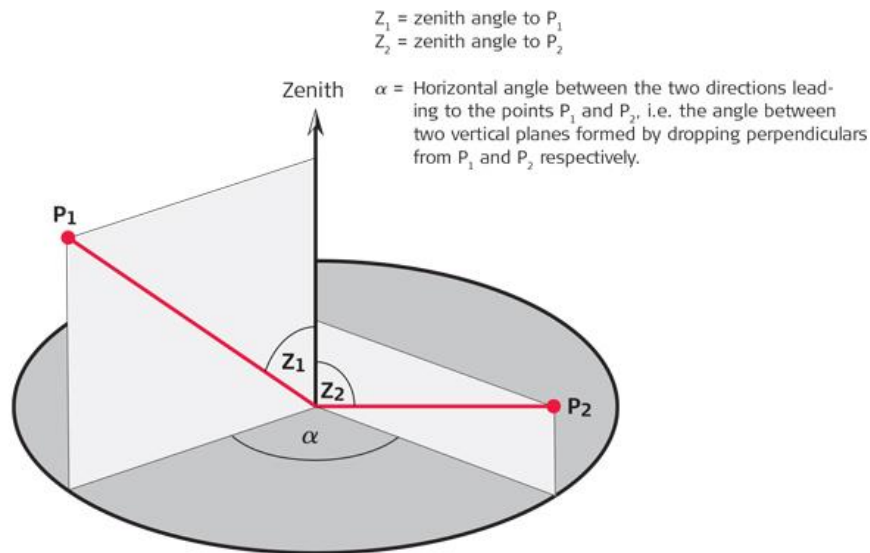
### 1.2.1. Prisma tööpõhimõte

Tänapäevased elektrontahhümeetrid kasutavad elektroonilist kaugusmõõturit: EDM (*Electronic distance measurement*). Selle tööpõhimõte näeb välja nii, et tahhümeetrist saadetakse välja pidev elektromagnetlaineline faas, mida saab mõõta 0-360 kraadi ulatuses. Mõõdetakse väljaläinud ja tagasipeegeldunud signaali faaside nihet ja laine tsüklite täisarvu prisma ja EDM vahel (vt. Joonis 1.1). Aga kui välja minev ja tagasi peegelduv kiir on faasist väljas siis saab arvutada kauguse järgneva valemiga:  $\rho = (N\lambda + d) / 2$ , kus N on kohale jõudnud täis faasipikkuste arv ja d on faaside murdosa vahe ja see jagatakse 2-ga kuna kiir on läbinud 2 sama pikkusega lõiku, tahhümeetrist prismale ja prismalt tagasi tahhümeetrisse [5].



**Joonis 1.1.** EDM faasi nihe [https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1749]. Pildil näidatud sinine joon on tahhümeetrist välja saadetakse signaal ja punane on prismalt tagasi peegeldunud signaal. Pildil on näha, et välja mineva ja tagasi tuleva joone faasid on nihkes, seega prisma kauguse saamiseks tahhümeetrist tuleb EDM programmil kasutada valemit  $\rho = (N\lambda + d) / 2$ .

Prismale mõõtmise tööpõhimõte näeb välja niimoodi, et tahhümeetrist saadetakse välja kiir mis peegeldub prisma klaasi pealt tagasi tahhümeetrisse. Tagasi tuleva kiire andmetest arvutatakse välja prisma ja tahhümeetri vaheline horisontaal- ja vertikaalsuuna lugem [1]. Elektrontahhümeetriga mõõtes horisontaal nurga saamiseks on vaja tahhümeetri enda asukohta ja lisaks veel kahte suunapunkti mille vahel saab elektrontahhümeeter nende suundade vahelise nurga arvutada. Punkti vertikaalse nurga arvutamiseks on vaja mõõta suund tahhümeetri seisupunktist mõõdetava punktini, kust siis tahhümeeter mõõdab vertikaalse nurga horisontaalsuuna ja mõõdetava suuna vahel (vt. Joonis 1.2). Kaldenurga ja joonepikkuse kaudu saab tahhümeeter arvutada mõõdetava punkti kõrguse kui on olemas kindelpunkti kõrgus [6].



**Joonis 1.2** Nurkade mõõtmine [<http://www.allenprecision.com/page/4-basic-total-station-functions/>]. Pildil on  $\alpha$ -ga näidatud kahe punkti vahel olevat horisontaalnurka.  $Z_1$  ja  $Z_2$  nurgad on  $P_1$  ja  $P_2$  seniitkaugused.

### 1.2.2. Prisma tüübid

Prismad on peamiselt ehitatud ja kokkupandud niimoodi, et nad peegeldaksid valgust täpselt sama teed pidi tagasi kuidas see sinna jõudis. Prismasid on mitut tüüpi, mõni neist on loodud kaugemale mõõtmiseks aga mõni on tehtud võimalikult täpseteks mõõtmisteks. Üks nendest tüüpidest on standartne prisma (vt. Joonis 1.3), mis koosneb klaasist tehtud kolmnurksest püstprismast. Püstprisma 3 nurka lihvitakse nii, et ta mahuks täpselt ringikujulisse ümbrisesse [7].



**Joonis 1.3** Tavaprisma ehitus osadena väljatooduna [[http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white\\_paper\\_surveying\\_reflectors\\_en.pdf](http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white_paper_surveying_reflectors_en.pdf)]. Pildil on näidatud prisma koostisosad. Tavaprisma koosneb talle ette nähtud raamist, kuhu käib sisse prisma klaas.

360° prisma üs loomise põhjus oli see, et muuta mõõtjale mõõtmine võimalikult mugavaks. 360° prisma teeb *ATR* süsteemi kasutamise kiiremaks ja paremaks, kuna töö tegija ei pea enam jälgima seda, et prisma oleks suunatud tahhümeetri poole. 360° prismaid on erinevaid tüüpe, kaks põhilist elektrontahhümeetrile 360° prismaid tootjaid on Trimble ja Leica. Leica toodab kolmnurksete klaasidega 360° prismaid ja Trimble toodab 360° prismaid, millele on terve ringi ulatuses prismaid pandud. 360° prismaid tööpõhimõte on sama, mis standardisel prisma. Ainus erinevus on see, et nad on 360° ulatuses kaetud peegelduva pinnaga [7].

*ATR* mõõtmine 360° prisma on mugav, kuid ta võib olla ka natukene ebatäpsem, kui seda süsteemi kasutades mõõta standartsele prisma. On tehtud uuringuid kumb prisma on *ATR* süsteemi erinevates tingimustes kasutamisel täpsem. Ühel võrdlusel kasutati Leica tavaprismat (GPR1) ja Leica 360° prisma (GRZ4). Sealt selgus, et ilma takistusteta mõõtmisel andis paremaid tulemusi tavaprisma. Aga kui pandi neile prismadele takistused ette siis jõuti järgmiste järeldusteni [1]:

- 1) Tolmusel objektiivil ja prisma pole suurt mõju *ATR* mõõtmistele;
- 2) Märjal objektiivil ja prisma pole suurt mõju *ATR* mõõtmistele;
- 3) Kui mõõta läbi lähedal asuva klaasi, võivad tekkida suured nurga ja kaugus vead;
- 4) Kui mõõta täpselt läbi ehitusel oleva varjekanga siis ei tohiks olla *ATR* mõõtmisel olulisi vigu;
- 5) Läbi taimestiku mõõtmine tekitab suuri juhuslikke vigu;

- 6) Kui tavaprisma on pooleldi kaetud, siis elektrontahhümeeter küll mõõdab ära, kuigi tulemus on poole prisma laiuse võrra vale;
- 7) Mida lähemal takistus (kõik takistused) elektrontahhümeetrile on, seda halvemini *ATR* mõõtmine töötab.

Kui standardsed prismad koosnevad ühest klaasist valmistatud kolmnurksest püstprismast siis Leica 360° prisma koosneb kuuest sellele sarnasest osast (vt. Joonis 1.4). Need osad on väga tihedalt üksteisega kokku pandud. 360° prisma püstprisma osade vahe on see, et nad on väiksemates mõõtudes ja nende ääri on ainult natukene kumeramaks tehtud, mitte pole ringikujuliseks lihvitud. Leica 360° prisma nõrgaks küljeks on, et see on suhteliselt raske ja suur (vt. Joonis 1.5) [7].



**Joonis 1.4** Leica 360° prisma klaasi osa [[http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white\\_paper\\_surveying\\_reflectors\\_en.pdf](http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white_paper_surveying_reflectors_en.pdf)].



**Joonis 1.5** Leica 360° prisma (GRZ122) [[http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white\\_paper\\_surveying\\_reflectors\\_en.pdf](http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white_paper_surveying_reflectors_en.pdf)].

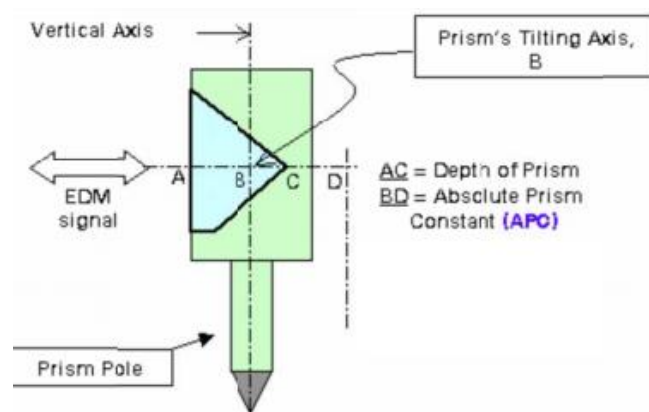
Trimble 360° prisma prismad on ehituselt samad nagu standardsed prismad. Erinevuseks on see, et need on natukene väiksemad kui tavalised prismad. Neid on seitse tükki ja nad on paigaldatud ümber ühe telje, et 360° vaateväli oleks kaetud (vt. Joonis 1.6) [8]. Iga prisma klaasi vahel on mustast plastikust liite kohad.



**Joonis 1.6** Üks Trimble 360° prismadest [8].

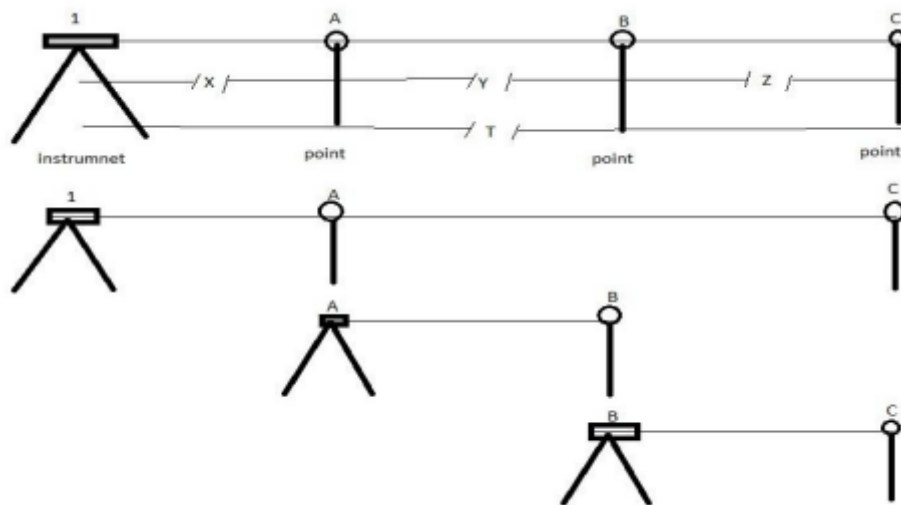
### 1.2.3. Prisma konstant

Igale prismale tuleb määrata selle konstant. Konstant määrab suhted kiire tagasipeegeldumise koha ja prisma vertikaaltelje vahel. Vale prisma konstanti kasutades tulevad mõõtes valed joone pikkused (vt. Joonis 1.7). Prisma konstant tekib sellest, et kui elektromagnetiline laine siseneb prisma klaaskorpusesse siis tema kiirus väheneb, mis tõttu tegelik mõõtmise pikkus pikeneb [8].



**Joonis 1.7** Prisma vertikaaltelg ja punktid prismaal [8]. Pildil on näidatud prisma vertikaaltelg B, suunda kust EDM kiir prismasse sisse tuleb (EDM signal). AC joon tähistab prisma sügavust ja BD joon näitab absoluut prisma konstanti. Punkti D toimub mõõtmine ilma prisma konstanti sisestamata. Õige prisma konstandi sisestamisel nihutatakse mõõtmised punktist D punkti B, mis annab meile õige vahemaa tahhümeetri ja prisma vahel.

Kõige lihtsamaks prisma konstandi määramiseks on vaja kolme statiivi, tahhümeetrit ja prismat, mille konstanti määratakse (vt. Joonis 1.8). Selleks tuleb asetada kolm statiivi A, B ja C samale sirgele. Mõõta pikk joon AC ja kaks lühikest joont AB ja BC. Kasutada tuleb täpset mõõtmisrežiimi, prisma konstant võtta algselt 0-ks. Pikast joonest kahe lühikese joone summa lahutamisel saadakse prisma konstant ( $K = AC - (AB + BC)$ ). Täpsemaks konstandi määramiseks tuleks kasutada laboratoorseid tingimusi ja -vahendeid, sest eelnevate tingimustega on raske saavutada väga täpseid tulemusi, kuna iga pisema detailiga võib tulla viga sisse [9].



**Joonis 1.8.** Prisma konstandi määramise etapid [9]. Kasutatud on nelja statiivi, punktis 1 on instrument, kust alguses mõõdetakse vahemaa punkti A, siis B ja siis C. Edasi mõõdetakse punkti A ja siis C, nüüd liigutatakse instrument punkti A kust mõõdetakse punkti B ja viimaseks viiakse instrument punkti B, kust mõõdetakse punkti C. Konstandi arvutamiseks kasutatakse valemit  $K = (T - X - Y - Z)/2$ , kus P on prisma konstant, T on joone pikkus instrumendist C-ni, X on instrumendi ja A vaheline kaugus, Y on A ja B vaheline kaugus ja Z on B ja C vaheline kaugus. See kõik jagatakse kahega kuna arvutusel kasutati kahte täispikka joont [9].

## 2. MÕÕTMISTEKS KASUTATAVAD INSTRUMENDID JA METOODIKA

### 2.1. Kasutatavad prismad

Mõõtmisteks kasutati nelja erinevat prismat: ühte ringprismat ja kolme erineva ehitusega standardprismat. Ringprismana kasutati Trimble 360° prismat, tavaprismadena kasutati Leica GPR1 prismat ja kahte Eesti Maaülikooli geomaatika osakonnas olevat standartprismat, mille tootja nime ei ole olnud võimalik tuvastada.

Trimble 360° prisma on *multi prism* tüüpi (vt. Joonis 2.1), mis koosneb seitsmest väiksest klaasist prismast millega moodustatakse ring ümber prisma telje.



**Joonis 2.1** Mõõtmistel kasutatud Trimble 360° prisma.

Leica GTP1 standartprisma on suhteliselt väikse prisma pinnaga olev prisma ( Joonis 2.2), mille tõttu saab teda kasutada täpsemateks mõõtmisteks, kui teisi töös kasutatavaid prismasid. Ta on ka kaalult kergem kui teised töös kasutatavad prismad, mis teeb ta kasutamise mugavamaks.





**Joonis 2.2** Mõõtmistel kasutatud Leica standardprisma GTP1.

Järgnevad kaks töös kasutatud prisma on väljapoole ulatuva klaasiga prismad, üks neist on väiksem (vt. Joonis 2.3) ja teine suurem (vt. Joonis 2.4).



**Joonis 2.3** Mõõtmistel kasutatud väiksem tundmatu tootja standardprisma (edaspidi tulemustes standardprisma 1 nime all).





**Joonis 2.4** Mõõtmistel kasutatud suurem tundmatu tootja standardprisma (edaspidi tulemustes standardprisma 2 nime all).

## 2.2. Tahhümeetri Trimble S6 ülevaade

Üks osa mõõtmistest teostati Eesti Maaülikooli geomaatika osakonna elektrontahhümeetriga Trimble S6 (vt. Joonis 2.5). Trimble S6 on praktikas laialt levinud: ta on kasutusel paljudes geodeesia valdkondadega tegelevates firmades. Tal on olemas automaatjälgimis süsteem ja kaugjuhtimissüsteem, mis teeb temast nn ühemehe aparaadi. Tahhümeetriga saab kaugust mõõta kahes režiimis: prismaga mõõtmine ja DR mõõtmine ehk laseriga mõõtmine. Olenevalt mudelist võib Trimble S6 nurkade mõõtmise standardhälve olla  $\pm 2''$  (0,6 mgon),  $\pm 3''$  (1.0 mgon) või  $\pm 5''$  (1.5 mgon). Ekraanil eristab tahhümeeter nurki 0,1'' (0.01 mgon) täpsusega. Tahhümeetril on olemas automaatne loodi kompensator, mis võimaldab instrumenti horisonteerida  $\pm 0,5''$  täpsusega. Kauguse mõõtmise täpsus on mõlemas režiimis  $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$  (ppm – *parts-per-million*, näitab 1 mm viga 1 km-le) ja automaatjälgimist kasutades  $\pm 4 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ .



**Joonis 2.5** Elektrontahhümeeter Trimble S6.

Mõõtmisteks kasutati Trimble TCU paneeli (vt. Joonis 2.6), millel on peal Trimble Access tarkvara. Mõõtmised tein kaugjuhtimiseks mõeldud paneelihoidjaga (vt. pilt).



**Joonis 2.6** Trimble TCU väliarvuti.

### **2.3. Tahhümeetri Leica TS15 ülevaade**

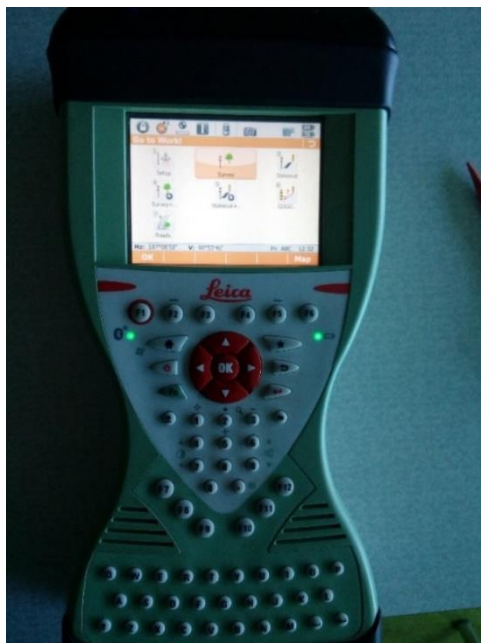
Teine mõõtmiste osa teostati Eesti Maaülikooli geomaatika osakonna elektrontahhümeetriga Leica TS15(vt. Joonis 2.7). Leica firma tooted on samuti leidnud praktikas laialt kasutust. Kuna enamus tahhümeetreid on samas hinna kvaliteedi klassis siis peavad geodeedid leidma endale kõige paremini sobiva tahhümeetri. Leica TS15 on olemas samad rakendused, mis

Trimbe S6-l. Tal on olemas kaugjuhtimissüsteem, temaga saab mõõta nii DR kui ka prisma režiimis. Nurkade mõõtmise täpsus on  $\pm 3''$  (1.0 mgon). Ta eristab nurki 0,1'' (0,01 mgon) täpsusega. Kauguse mõõtmise täpsus on  $\pm 1 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm}$ .



**Joonis 2.7** Elektrontahhümeeter Leica TS15.

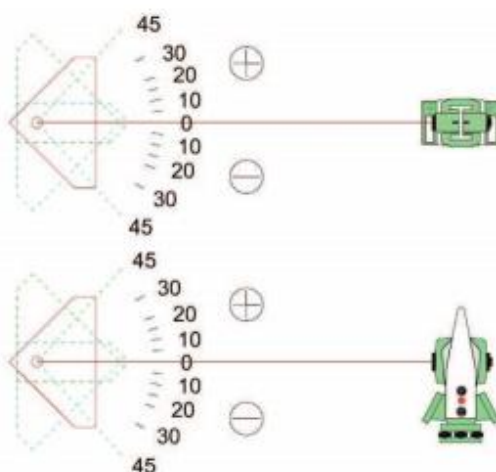
Leica väliarvutiks on Leica Viva CS15 (vt. Joonis 2.8), mis kasutab Leica Smartworx tarkvara.



**Joonis 2.8** Väliarvuti Leica Viva CS15.

## 2.4. Metoodika

Mõõtmiste teostamiseks seatakse tahhümeeter statiivile ja pannakse loodi. Mõõtmistel on tahhümeetris aktiveeritud *ATR* rakendus, mis võimaldab tahhümeetril ise prisma jälgida kui seda keeratakse. Trimble S6 saab *ATR-i* sisse lülitada, kui väliarvuti menüüs minna rakenduste alla ja seal vajutada *Autolock* nupule, kus ta lülitab selle sisse. Kuna on vaja vaadata ainult palju instrumendi horisontaalsuuna lugem prisma aeglaselt keerates muutub, siis aparati orienteerida pole vaja. Mõõtmisteks võetakse tahhümeetri menüüst lihtmõõtmise programm, kus mõõtmiste tegemiseks ei ole vaja tahhümeetri orienteerimist. Umbes 10 meetri kaugusele instrumendist pannakse teine statiiv, mille külge on kinnitatud looditud treeger. Tahhümeetri niitistik suunatakse võimalikult täpselt prisma keskpunkti, peale mida saab lihtmõõtmise rakenduse kaudu viseerimiskiire horisontaalsuuna lugemi nulliks seada. Nüüd hakatakse prisma keerama (vt. Joonis 2.9). Tavaprismasid keeratakse 0-suunast  $\pm 15^\circ$  mõlemale poole ja kirjutatakse ülesse palju erineb horisontaalsuuna lugem  $0^\circ$ -st. Ringprismaga mõõtes tehakse vaikselt prisma keerates peale täisring ja kirjutatakse ülesse kõige väiksem ja kõige suurem lugem, mis keeramisel tekib. Mõõtmistulemuste kvaliteedi tõstmiseks, tehakse igat mõõtmist kolm korda ja arvutatakse nendest keskmine tulemus. Selleks, et saada parem võrdlusmoment siis tehakse mõõtmisi ka umbes 100 meetri kaugusel asuvale statiivile.



**Joonis 2.9.** Prisma pööramine tahhümeetri suhtes [10].

Mõõtmistel kirjutati ülesse ka tahhümeetri ja prisma vahel mõõdetud täpne kaugus. Saadud horisontaallugemi tulemustest arvutatakse mitu sekundit on väikseima ja suurima lugemi vahe. Saadud nurk (suuna viga) ja kaugused sisestatakse mõõtmissihi suunalise

koordinaatteljestiku X ja Y vigade arvutamise valemisse  $e = \frac{r'' * S}{206265''}$ , kus  $r''$  on suuna viga sekundites, S on kaugus ja 206265'' on üks radiaan sekundites [11]. Valemist tuleb välja, et 100 meetri peale on ühe sekundiline eksimus ~0,5 mm.

Lisaks Trimble S6-le kasutatakse mõõtmisteks ka Leica TS15 tahhümeetrit. Mõõtmised tehakse samal viisil kui Trimble S6-ga. Kuna Leica ja Trimble tahhümeetritel on erinevad menüüd siis, Leica ilma orienteerimiseta mõõtmis rakendus avaneb *Go to work* ja sealt edasi *Survey*. Leica ATR süsteemi saab sisselülitada, kui minna väliarvutis *Leica favourites* alla ja sealt vajutada *target lock on* ikooni. Leica ilma orienteerimiseta mõõtmise rakendusel pole Trimble-ga sarnast horisontaal ja vertikaalnurga nullimis võimalust, seega kirjutati ülesse kõige suurem ja väiksem horisontaalsuuna lugem.

### 3. MÕÕTMISTE TULEMUSED

#### 3.1. Mõõtmised lühikesel distantstil

Mõõtmised teostati kolmel erineval päeval. Lühikesel distantstil mõõtmised teostati Eesti Maaülikooli Kreutzwaldi 5 majas 2B5 auditooriumis, kus statiividel olevad treegerid looditi kahele punktile, et mõlemal korral tahhümeetri ja prisma vahel oleks täpselt samasugune vahemaa. Esimesed mõõtmised teostati Trimble S6 tahhümeetriga. Alustuseks mõõdeti standardprismadele. Standardprismade kolme katse keskmised vead on toodud tabelis 3.1

**Tabel 3.1.** Standardprismade keskmised vead Trimble S6 tahhümeetriga lühikesel distantstil.

Trimble S6						
Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel (sek)	Hor. Suuna viga +15° ja -15° vahel (mm)	Max keeratud nurk mõlemale küljele	Viga max nurga all (sek)	Viga max nurga all (mm)
Standard-prisma 1	9,066	128,3	5,6	46°	592,3	26,0
Standard-prisma 2	9,066	181,7	8,0	32°	513,3	22,6
Leica GTP1 standard-prisma	9,062	3,3	0,2	36°	28,3	1,3

Järgmisena asetati treegerile Trimble 360° prisma. Mõõtmistel katsetati kahe erineva instrumendi valikutes oleva prisma tüübiga. Tulemused on toodud tabelis 3.2.

**Tabel 3.2.** Trimble 360° prisma keskmised vead Trimble S6 tahhümeetriga lühikesel distantstil.

Trimble S6			
Prisma tüüp	Kaugus (m)	Hor. suuna viga (sek)	Viga (mm)
Tavaprisma	9,037	163,7	7,2
vx/s seeria 360	9,038	155,0	6,8

Edasised mõõtmised teostati Leica TS15 tahhümeetriga samasugustes tingimustes nagu eelnevad mõõtmised. Standardprismade kolme katse keskmised vead on toodud tabelis 3.3.

**Tabel 3.3.** Standardprismade keskmised vead Leica TS15 tahhümeetriga lühikesel distantstil.

Leica TS15						
Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel (sek)	Hor. Suuna viga +15° ja -15° vahel (mm)	Max keeratud nurk mõlemale küljele	Viga max nurga all (sek)	Viga max nurga all (mm)
Standard-prisma 1	9,030	128,3	5,6	33°	592,3	25,9
Standard-prisma 2	9,033	181,7	8,0	32°	513,3	22,5
Leica GTP1 standard-prisma	9,028	3,3	0,2	30°	28,3	1,2

Nagu ka Trimble S6-ga tehti, asetati ka nüüd treegerile Trimble 360° prisma. Mõõtmistel katsetati kahe erineva instrumendi valikutes oleva prisma tüübiga. Tulemused on toodud tabelis 3.2.

**Tabel 3.4.** Trimble 360° prisma keskmised vead Leica TS15 tahhümeetriga lühikesel distantstil.

Trimble S6			
Prisma tüüp	Kaugus (m)	Hor. suuna viga (sek)	Viga (mm)
Tavaprisma	9,002	163,7	7,2
Trimble 360 prism	9,003	155,0	6,8

### 3.2. Mõõtmised pikal distantstil

Pikema distantsi peale mõõtmised teostati sama hoone teise korruse koridori kõige pikemal sirglõigul. Seal asetati ühte koridori otsa tahhümeeter ja teise statiiv prismaga. Pika lõigu mõõtmised tehti ühes ja samas asendis mõlema tahhümeetriga, et vahemaa jääks mõlemal mõõtmisel samaks. Pika lõigu mõõtmisi alustati samuti Trimble S6 tahhümeetriga. Esimesed mõõtmised tehti standardprismadele, mille tulemused on toodud tabelis 3.5.

**Tabel 3.5.** Standardprismade keskmised vead Trimble S6 tahhümeetriga pikal distantstil.

Trimble S6						
Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel (sek)	Hor. Suuna viga +15° ja -15° vahel (mm)	Max keeratud nurk mõlemale küljele	Viga max nurga all (sek)	Viga max nurga all (mm)
Standard-prisma 1	87,293	14,3	6,1	45°	53,7	22,7
Standard-prisma 1	87,292	33,0	14,0	31°	50,0	21,2
Leica GTP1 standard-prisma	87,287	3,3	1,4	25°	7,5	3,2

Treegerile asetati Trimble 360° prisma. Mõõtmistel katsetati kahe erineva instrumendi valikutes oleva prisma tüübiga. Tulemused on toodud tabelis 3.6.

**Tabel 3.6.** Trimble 360° prisma keskmised vead Trimble S6 tahhümeetriga pikal distantstil.

Trimble S6			
Prisma tüüp	Kaugus (m)	Hor. suuna viga (sek)	Viga (mm)
Tavaprisma	87,293	17,7	7,5
vx/s seeria 360	87,294	18,0	7,6

Leica TS15 pika distantsti mõõtmistel alustati standardprismadega. Tulemused on toodud tabelis 3.7.

**Tabel 3.7.** Standardprismade keskmised vead Leica TS15 tahhümeetriga pikal distantstil.

Leica TS15						
Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel (sek)	Hor. Suuna viga +15° ja -15° vahel (mm)	Max keeratud nurk mõlemale küljele	Viga max nurga all (sek)	Viga max nurga all (mm)
Standard-prisma 1	87,208	22,3	9,4	30°	53,3	22,5
Standard-prisma 1	87,21	27,0	11,4	32°	59,7	25,2
Leica GTP1 standard-prisma	87,214	6,7	2,8	25°	16,0	6,8

Leica TS15 pika distantsti Trimble 360° prismale mõõtmiste tulemused on toodud tabelis 3.8.



**Tabel 3.8.** Trimble 360° prisma keskmised vead Leica TS15 tahhümeetriga pikal distantstil.

Leica TS15			
Prisma tüüp	Kaugus (m)	Hor. Suuna viga (sek)	Viga (mm)
Tavaprisma	87,220	20,3	8,6
Trimble 360° prisma	87,220	19,3	8,2

## 4. TULEMUSTE ANALÜÜS

### 4.1. Standardprismade analüüs lühikesel distantstil

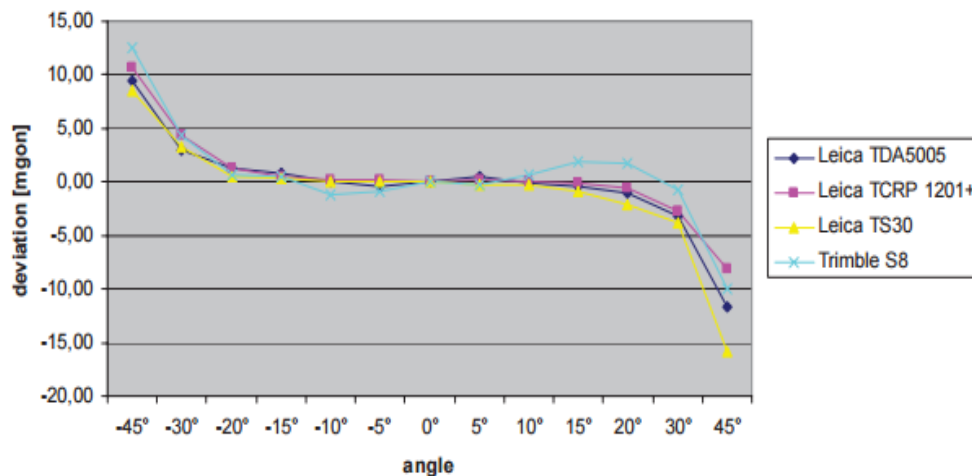
Trimble S6 ja Leica TS15 mõõtmiste tulemused olid umbes 9 meetrisel distantstil peaaegu samad (tabel 4.1). Selgus, et maksimaalsed horisontaalsed vead erinevate prismade vahel tulevad arvestatavalt suured. Mõõtmistulemustes põhjal võib liigitada prismad erinevatesse täpsusklassidesse. Kõige täpsemad tulemused umbes 9 meetri kauguselt mõõtmistel saavutati Leica GTP1 prismaga. Seda prisma *ATR* mõõtmistel nurga alla keeramine eriti ei mõjuta ja vead jäävad millimeetri piiresse isegi kui prisma keerata nii, et *ATR* võtab prisma klaasist maksimum nurga all kinni. Selle prisma viga oli sekundites 3,3" ja millimeetrites ainult 0,2 mm. Väike viga tuleneb arvatavasti sellest, et selle prisma klaas on väiksem kui teiste töös kasutatud prismade klaasid, mille tulemusena on tahhümeetril seda prisma lihtsam jälgida. Standardprismadest oli täpsuselt järgmine tundmatu tootja prisma 1, mis oli Leica GTP1 prismast juba mõlemale poole 15° kraadi ulatuses 5,4 mm ebatäpsem, vahe sekundites oli 125". Kõige ebatäpsem testis kasutatud prismadest oli standardprisma 2, mille maksimaalne oli 8 mm ehk 7,8 mm suurem kui Leica GTP1-l. Vahe sekundites oli 178,4". Prismasid mõlemale poole viseerimiskiire suhtes maksimaalse lukustava nurga suunas keeratuna oli kõige täpsem samuti Leica GTP1, teine oli seekord standardprisma 2 ja viimane standardprisma 1. Selle katse vead tulenevad sellest, et tahhümeeter ei suuda kõiki neid prismasid võrdse nurgani jälgida, kuna nende klaasid ja ehitused on erinevad. Kõige suurema nurga alla lasi ennast Autolocki lahti laskmata keerata standardprisma 1. Trimble S6 instrumendil sai seda keerata keskmiselt 46° keskpunktist. Üllatav on see, et Leica TS15-l sai seda keerata keskmiselt ainult 33° aga viga millimeetrites erines ainult 0,1 mm võrra Leica kasuks. Teisele kohale selles katses tuli standardprisma 2, mida sai keerata keskmiselt 32° mõlema tahhümeetri puhul. Leica GTP1 sai keerata 30° mõlemale poole keskpunktist.

**Tabel 4.1.** Trimble S6 ja Leica TS15 standardprismade võrdlus lühikesel distantstil.

Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel	Hor. Suuna viga +15° ja - 15° vahel (mm)	Max keeratud nurk mõlemale küljele	Viga max nurga all (sek)	Viga max nurga all (mm)
Trimble S6						
Standard- prisma 1	9,066	128,3	5,6	46°	592,3	26,0
Standard- prisma 2	9,066	181,7	8,0	32°	513,3	22,6
Leica GTP1 standard- prisma	9,062	3,3	0,2	30°	28,3	1,3
Leica TS15						
Standard- prisma 1	9,030	128,3	5,6	33°	592,3	25,9
Standard- prisma 2	9,033	181,7	8,0	32°	513,3	22,5
Leica GTP1 standard- prisma	9,028	3,3	0,2	30°	28,3	1,2

Varasemalt on tehtud sarnane uuring 10 meetri kaugusele mõõtes, kus kasutati Leica GMP101 miniprismat, millele tehti mõõtmised Leica TDA5005, Leica TCRP 1201+, Leica TS30 ja Trimble S8 elektrontahhümeetritega. Leica TDA5005 tahhümeetri puhul arvutati välja ka vead koordinaatsüsteemis:  $\pm 15^\circ$  all  $y = \pm 0,2$  mm,  $x = \pm 0,1$  mm ja  $z = \pm 0,0$  mm.  $\pm 45^\circ$  nurga all arvutati vigadeks  $y = \pm 0,3$  mm,  $x = \pm 0,2$  mm ja  $z = \pm 1,5$  mm. Mõõtmiste tulemused on toodud joonisel 4.1 milligoonides,  $1 \text{ mgon} \approx 3,24''$  [10].

Pospíšilová, L ja Pospíšil, J uuringu [10] graafikult tulemused interpoleeriti käesoleva töö süsteemi (tabel 4.2). Võrdluse saamiseks interpoleeriti ainult Trimble S8 ja Leica TS30 tulemused, kuna need on selles töös kasutatavate elektrontahhümeetrite uuemad versioonid. Tulemustes selgus, et 10 meetrisel joonel on Leica GTP prisma on kahe uuringu kõige täpsem prisma, temast natukene ebatäpsem on Leica GMP101 prisma.



**Joonis 4.1.** Leica GMP101 miniprisma kõrvalekalle milligoonides 10 meetri kaugusel kasutades erinevaid elektrontahhümeetreid [10].

**Tabel 4.2.** Pospíšilová, L ja Pospíšil, J [10] uuringu graafikutelt interpolateeritud elektrontahhümeetrite Trimble S8 ja Leica TS30 tulemused, kus on vead arvutatud selle töö süsteemi põhjal

Trimble S8					
Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel	Hor. Suuna viga +15° ja -15° vahel (mm)	Hor. Suuna viga +45° ja -45° vahel (mm)	Hor. Suuna viga +45° ja -45° vahel (mm)
Leica GMP101 standardprisma	10	6,3	0,3	73,4	3,6
Leica TS30					
Leica GMP101 standardprisma	10	3,1	0,2	79,9	3,9

Leica GMP101 ja Leica GTP1 prismade horisontaal suuna viga +15° ja -15° vahel on peaaegu sama, ainult Trimble S8 on GMP101 prismale mõõtnud 0,1mm ebatäpsemalt. Maksimaalse nurga alla keerates Pospíšilová, L ja Pospíšil, J [10] uuringu ja käesoleva uuringu viga erines Trimble S6 oli Trimble S8-st 2,3mm täpsem ja Leica TS15 oli Leica TS30-st 2,7mm täpsem. Vigade erinevus tekkis sellest, et Pospíšilová, L ja Pospíšil, J [10] uuringus lubas prisma ennast mõõta 45° mõlemale poole, aga Leica GTP1 prisma sai mõõta 30° mõlemale poole, sest prisma külgmise pind oli plastikuga rohkem kaetud.

## 4.2. Standardprismade analüüs pikal distantstil

Pikema distantsti mõõtmised toimusid umbes 87 meetrisel lõigul. Siin tekkisid juba väiksed erinevused lisaks prismadele ka tahhümeetrite lõikes (joonis 4.2). Kõige paremad tulemused andis Leica GTP-1 prisma. Mõlemale poole 15° keeramisel tekkinud maksimaalne viga oli sellel prisma Trimble S6 puhul 1,4 mm ja 3,3 sekundit. Leica puhul oli samale prismale mõõtmise veaks 2,8 mm ja 6,7 sekundit. Täpsuselt järgmine oli mõlema tahhümeetri puhul standardprisma 1, ka siin oli Trimble S6 täpsem kui Leica TS15. Täpsuselt viimaseks jäi selles arvestuses standardprisma 2, seekord oli Leica TS15 täpsem kui Trimble S6.

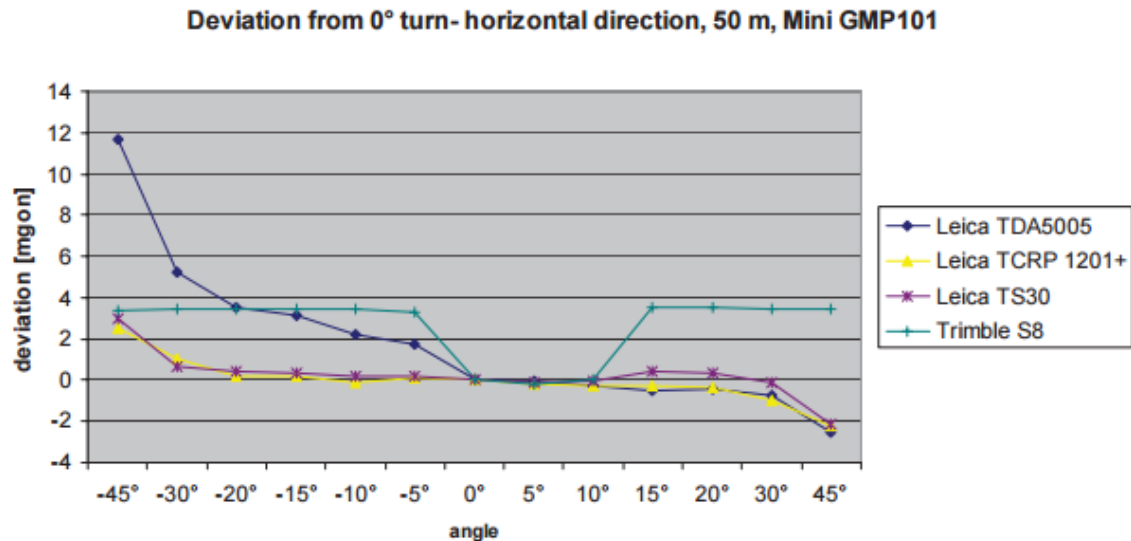
Maksimaalse nurga alla keerates oli samuti kõige täpsem Leica GTP1 prisma, selle prisma puhul säilitasid mõlemad tahhümeetrid prismast kinnihoidmise 25° all keerates. Trimble S6 saadi 1,6 mm parem tulemus kui Leica TS15, sekundites on erinevus 4 sekundit Trimble kasuks. Trimble puhul oli teisel kohal standardprisma 2 ja kolmandal standardprisma 1. Leica puhul oli teisel kohal standardprisma 1 ja kolmandal standardprisma 2.

**Tabel 4.3.** Trimble S6 ja Leica TS15 standardprismade võrdlus pikal distantstil.

Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel	Hor. Suuna viga +15° ja -15° vahel (mm)	Max keeratud nurk mõlemale küljele	Viga max nurga all (sek)	Viga max nurga all (mm)
Trimble S6						
Standard-prisma 1	87,293	14,3	6,1	45°	53,7	22,7
Standard-prisma 1	87,292	33,0	14,0	31°	50,0	21,2
Leica GTP1 standard-prisma	87,287	3,3	1,4	25°	7,5	3,2
Leica TS15						
Standard-prisma 1	87,208	22,3	9,4	30°	53,3	22,5
Standard-prisma 1	87,21	27,0	11,4	32°	59,7	25,2
Leica GTP1 standard-prisma	87,214	6,7	2,8	25°	16,0	6,8

Trimble S6 ja Leica standardprisma 1 mõõtmistulemused erinesid üksteisest ainult 0,2 mm ja 4 sekundit, aga maksimaalse nurga alla keeramise suund erines 15° võrra. Standardprisma 2 erinevus oli 4 mm ja 9,7 sekundit, siin oli Trimble täpsem kui Leica.

Pospíšilová, L ja Pospíšil, J [10] pikema distantsi uuring sooritati 50m kaugusel Leica GMP101 miniprismaga (vt. Joonis 4.2). Jõuti järeldusele, prisma kõrvalekalle sõltub tahhümeetri ja prisma vahel olevast kaugusest [10].



**Joonis 4.2.** Leica GMP101 miniprisma kõrvalekalle milligoonides 50 meetri kaugusel kasutades erinevaid elektrontahhümeetreid [10].

Pospíšilová, L ja Pospíšil, J uuringu [10] graafikult tulemused interpoleeriti käesoleva töö süsteemi (tabel 4.4). Võrdluse saamiseks interpoleeriti ainult Trimble S8 ja Leica TS30 tulemused, kuna need on selles töös kasutatavate elektrontahhümeetrite uuemad versioonid. Pikema distantsi puhul ei saa päris täpset võrdlust teha kuna ühes töös teostati mõõtmised 50 meetrisel joonel ja teises töös 87 meetrisel joonel. Kui Pospíšilová, L ja Pospíšil, J uuringus saavutas parema tulemuse Leica TS30, siis käesolevas uuringus oli parem Trimble S6 tahhümeeter.

**Tabel 4.4.** Pospíšilová, L ja Pospíšil, J uuringu graafikutelt interpolateeritud elektrontahhümeetrite Trimble S8 ja Leica TS30 tulemused, kus on vead arvutatud selle töö süsteemi põhjal.

Trimble S8					
Prisma	Kaugus (m)	Hor. suuna viga +15° ja -15° vahel	Hor. Suuna viga +15° ja -15° vahel (mm)	Hor. Suuna viga +45° ja -45° vahel (mm)	Hor. Suuna viga +45° ja -45° vahel (mm)
Leica GMP101 standardprisma	50	20,6	5	20,6	5,0
Leica TS30					
Leica GMP101 standardprisma	50	1,4	0,3	15,6	3,8

### 4.3. Trimble 360° prisma analüüs

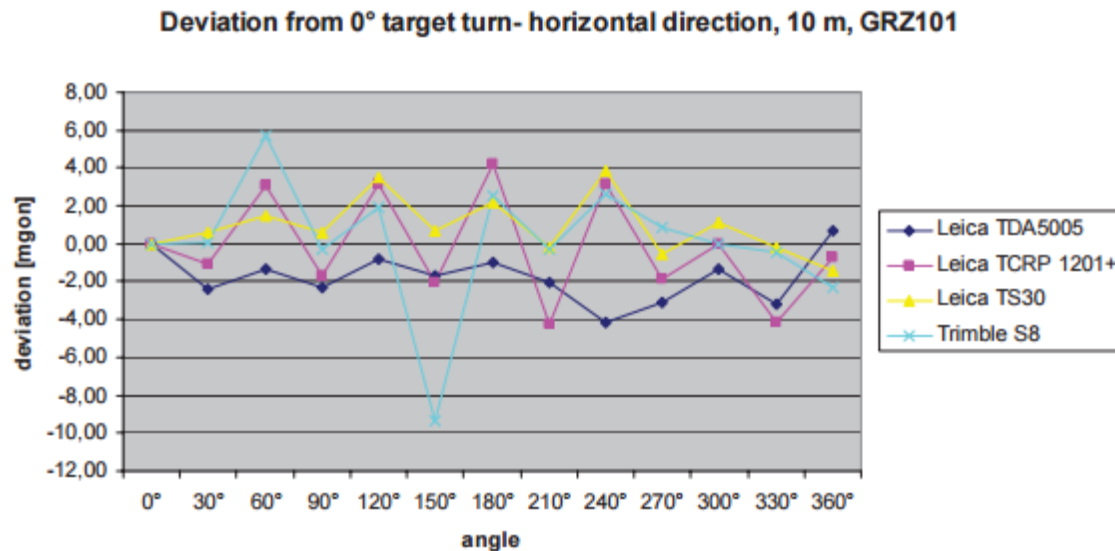
Trimble 360° prismaga lühikesel distantstil mõõtmisel oli tavaprisma tüübiga režiimis mõõtmisel tahhümeetrite erinevus 0,1 mm, täpsem oli Leica TS15. Trimble 360° prisma tüübiga režiimis mõõtes oli mõlema tahhümeetri puhul viga 6,8 mm, see oli Leica tahhümeetri puhul tavaprisma tüübist täpsem 0,3 mm ja Trimble S6 tavaprisma tüübist 0,4 mm täpsem. Distantsti suhtes saadi Trimble S6-ga mõõtmisel 3,5 cm pikem tulemus kui Leica TS15-ga.

**Tabel 4.5.** Trimble S6 ja Leica TS15 Trimble 360° prismale mõõtmiste tulemused.

Prisma tüüp	Trimble S6			Leica TS15		
	Kaugus (m)	Viga (sek)	Viga (mm)	Kaugus (m)	Viga (sek)	Viga (mm)
Tavaprisma	9,037	163,7	7,2	9,002	163,7	7,1
Tavaprisma	87,293	17,7	7,5	87,220	20,3	8,6
vx/s seeria 360	9,038	155,0	6,8	9,003	155	6,8
vx/s seeria 361	87,294	18,0	7,6	87,220	19,3	8,2

Umbes 87 meetri kaugusele mõõtes oli kõige täpsem Trimble S6 tavaprisma mõõtmis tüüp, mis oli vx/s seeria 360 tüübist 0,1 mm ja 0,3 sekundit täpsem. Leica TS15 tavaprisma tüübist oli see täpsem 1,1 mm ja 2,6 sekundit, Leica 360 tüübist oli see täpsem 0,7 mm ja 1,6 sekundit.

Pospíšilová, L ja Pospíšil, J [10] kasutasid oma uuringus Leica GRZ101 360° prismat. Järeldati seda, et kasutatud Leica tahhümeetreid kasutades on viga sarnase tendentsiga, aga Trimble S8-ga mõõtes võis suurem viga tekkida tema kompensaatorist, kuna statiivil olles tekkis aparaadis väike värin. Nende saadud tulemused on toodud joonisel 4.3 [10].



**Joonis 4.3.** Leica GRZ101 360° kõrvalekalle milligoonides 10 meetri kaugusel kasutades erinevaid elektrontahhümeetreid. [10]

Pospíšilová, L ja Pospíšil, J uuringu [10] graafikult tulemused interpoleeriti käesoleva töö süsteemi (tabel 4.6). Võrdluse saamiseks interpoleeriti ainult Trimble S8 ja Leica TS30 tulemused, kuna need on selles töös kasutatavate elektrontahhümeetrite uuemad versioonid.

**Tabel 4.6.** Pospíšilová, L ja Pospíšil, J uuringu graafikutelt interpoleeritud elektrontahhümeetrite Trimble S8 ja Leica TS30 tulemused, kus on vead arvutatud selle töö süsteemi põhjal.

Prisma tüüp	Trimble S8			Leica TS30		
	Kaugus (m)	Viga (sek)	Viga (mm)	Kaugus (m)	Viga (sek)	Viga (mm)
Leica GRZ101	10	48,0	11,6	10	16,8	4,1

Kuna töödes ei kasutatud samu prismsid siis prismade täpsuse kohta järeldust teha ei saa. Tahhümeetrite puhul saab järeldada seda, et Leica instrumendiga mõõtes Trimble 360° prismale ei teki väga suur erinevus, aga kui Trimble tahhümeetriga mõõta Leica 360° prismale siis võib tekkida palju suurem viga kui mõõtes Leica tahhümeetriga.



## KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada kui palju võivad erinevad prismad *ATR* süsteemi kasutades horisontaalsuunal eksida. Eesmärgiks oli ka tuvastada kas kahe erineva tootja samas klassis olevat elektrontahhümeetrit saavutavad prismadele mõõtmistel samad tulemused. Eesmärkide saavutamiseks tehti iga prismaga 6 katset, 3 neist 9-le meetri kaugusele mõõtes ja 3 87-le meetri kaugusele mõõtes. 9-meetrisel distantstil saavutasid mõlemad tahhümeetrid kõikide prismadega mõõtes sarnased tulemused, maksimaalne erinevus oli 0,1mm. Leica GTP1 prisma puhul oli viga natukene üle 1mm, 360° prismaga mõõtes oli viga tavaprisma režiimis Leica puhul 7,2 mm ja Trimble tahhümeetri puhul 7,1mm. 360° prisma režiimiga mõõtes oli viga mõlema tahhümeetri puhul 6,8 mm. Kõige suuremad vead tekkisid kahe tundmatu tootja standardprismadel, nende horisontaalsuuna viga +15° ja -15° vahel jäi vahemikku 5,6-8 mm ja maksimaalsete keeratud nurkade all oli nende viga 22,5-26,00 mm.

Pikemale distantstile mõõtes tekkisid lisaks prismade täpsuse erinevusele ka erinevused tahhümeetrite mõõtmistes. Kõige täpsem tulemus saadi ka siin Leica GTP1 prismaga, millele mõõtes saavutas Trimble S6 paremad tulemused kui Leica TS15. Leica TS15 saavutas parema tulemuse Trimble S6-st tundmatu tootja standardprisma 2-le +15° ja -15° vahel jääva nurga ja tundmatu standardprisma 1 maksimum nurkadele keeratud vea puhul. Teistes pikale lõigule mõõtmistes oli Trimble S6 täpsem. 360° prismat pikal lõigul kasutades oli samuti Trimble S6 parem kui Leica TS15. Tava prisma režiimis saadi Trimblega mõõtes veaks 7,5 mm aga Leicaga 8,6 mm, 360° prisma režiimis saadi Trimblega mõõtes veaks 7,6 mm aga Leicaga 8,2 mm.

Saadud tulemustest võib järeldada, et töös kasutatud prismadest saab kasutada ainult Leica GTP1 prismat, kui on vaja ehitusel teha mahamärkimisi mõne millimeetri täpsusega. Täppis mõõdistamisel peab arvestama ka mõõtmis kaugusega, töös selgus, et mida kaugemale mõõta on vaja, seda ebatäpsemaks mõõtmistulemus muutub. Samas klassis olevate tahhümeetrite puhul sõltub viga tahhümeetrist endast vähe, kuna mõõtmisvigade erinevus ei tule märgatavalt suur.

# KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Mr Ashley Weyman-Jones.** (2010). An investigation into the accuracy and limitations of automatic target recognition in total stations. [https://eprints.usq.edu.au/18405/1/Weyman-Jones\\_2010.pdf](https://eprints.usq.edu.au/18405/1/Weyman-Jones_2010.pdf) (20.04.2017)
2. **Joel Wooby.** (2008). Robotic total stations. <http://www.sage.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/Wooby/wooby%20webpage.htm> (01.04.2017)
3. **Singh. R., Artman. D., Brinton. D., Brown. L.** (2002). Oregon department of transportation. Compensators, Stability Check, and Automatic Target Recognition. [http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/GEOMETRONICS/docs/compensators-stability\\_checkatrhandout.pdf](http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/GEOMETRONICS/docs/compensators-stability_checkatrhandout.pdf) (29.03.2017)
4. **Kirschner, H., Stempfhuber, W.** (2008). The kinematic potential of modern tracking total stations – a state of the art report on the Leica TPS1200+. [http://www.mcg.ethz.ch/papres/Kirschner\\_Stempfhuber\\_05.pdf](http://www.mcg.ethz.ch/papres/Kirschner_Stempfhuber_05.pdf) (11.12.2016)
5. Pennstate Collage of Earth and Mineral Sciences, Department of Geography. Phase Shift. <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1749> (15.04.2017)
6. **Christine Grahl.** (2013). Four Basic Total Station Functions. <http://www.allenprecision.com/page/4-basic-total-station-functions/> (20.04.2017)
7. **Nindl, D., Mao, J.** (2009). Surveying Reflectors - Characteristics and Influences. [http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white\\_paper\\_surveying\\_reflectors\\_en.pdf](http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/white_paper_surveying_reflectors_en.pdf) (25.04.2017)
8. **Mr Matthew McDonald.** (oktoober 2011). Investigation into the Limitation of Measuring to 360 Degree Prisms using Automatic Target Recognition Technology. [https://eprints.usq.edu.au/22560/1/McDonald\\_2011.pdf](https://eprints.usq.edu.au/22560/1/McDonald_2011.pdf) (30.03.2017)
9. **Reda, A., Bedada, B.** (2012). Accuracy analysis and Calibration of Total Station based on the Reflectorless Distance Measurement. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:720441/FULLTEXT01.pdf> (17.04.2017)
10. **Pospíšilová, L., and Pospíšil, J.** (2014). Impact of the Target Configuration to the Precision of Total Station Measurement [https://www.fig.net/resources/proceedings/2014/2014\\_ingeo/TS4-03\\_Pospisilova.pdf.pdf](https://www.fig.net/resources/proceedings/2014/2014_ingeo/TS4-03_Pospisilova.pdf.pdf) (04.05.2017)
11. **Jüri Randjärv.** (1997). *Geodeesia I*. Tartu: Eesti Põllumajandusülikool. 360 lk.

# AN INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF AUTOMATIC TARGET RECOGNITION SYSTEM OF TOTAL STATIONS

## Summary

The aim of this thesis was to find out how big can horizontal direction error get using different prisms with ATR system. The goal was to define, can two different Total Station manufacturers Total Stations (Trimble S6 and Leica TS15) get same horizontal direction measurement errors on the same prism. To achieve the goal there were made 6 different tests with four prism. Three tests were made on 9 meter line and three on 87 meter line. On 9 meter distance both of the used Total Stations achieved similar errors, maximum difference between them was 0,1 mm. Leica GTP1 prism error was a little over 1 mm, 360° prism error in regular prism mode was 7,2 mm with Leica TS15 and 7,1 mm with Trimble S6. With 360° prism mode horizontal direction error of both Total Stations was 6,8 mm. The largest errors were obtained using two unknown manufacturer's round prisms, their horizontal direction error in between +15° and -15° was 5,6-8 mm and in the maximum angle it was 22,5-26,0 mm.

On the 87 meter line the measurement errors were not only depended on different prisms, but also on used Total Station. The most accurate prism was Leica GTP1. where Trimble S6 achieved smaller error than Leica TS15. Leica TS15's measurement error was smaller compared to Trimble S6 based on the measurements between angles +15° ja -15°, to unknown manufacturer's round prism 2. Same results were obtained based on the measurements to unknown manufacturer round prism 1 using maximum prism angle. In contrary, with other round prism on 87 meter line, Trimble S6 was more accurate than Leica TS15. On the 87 meter line Trimble S6 was also better using 360° prism. In regular prism mode Trimble S6 error was 7,5 mm and Leica TS15 error was 8,6 mm, in 360° prism mode Trimble S6 error was 7,6 mm and Leica TS15 error was 8,2 mm.

In conclusion, if measurement accuracy of some mm-s is required then only Leica GTP1 prism can be used. In precise measurements the distance between target and Total Station should be also considered. This study confirmed that the farther we measure the more

inaccurate the measurement result becomes. The results revealed that when same accuracy class Total Stations are used, the measurement error does not depend much on the Total Station but more on the used prism.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, \_\_\_\_\_,  
(autori nimi)

sünniaeg \_\_\_\_\_,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on \_\_\_\_\_,  
(juhendaja(te) nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(kuupäev)

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)